

接触重心位置変化に着目した持ち上げ動作の解析

Analysis of Lifting Task Focusing on the Trajectory of the Center of Pressure

○ 佐藤 恭平 (中大) 正 多田 充徳 (産総研) 正 梅田 和昇 (中大)

Kyohei SATO, Chuo University, sato@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Mitsunori TADA, Digital Human Research Center, AIST, m.tada@aist.go.jp

Kazunori UMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

We conducted analysis of lifting task focusing on the trajectory of the center of pressure during precision grasp. A measurement device was developed for this purpose. The result of the lifting task experiments under different friction and weight condition show coordination between grip force and load force. The trajectories of the center of pressure during the task, on the other hand, were almost identical regardless of the experimental condition.

Key Words: Lifting task, grip force, load force, center of pressure

1 はじめに

私達が日常生活の中で頻繁に行う動作の一つに持ち上げ動作がある。Johansson らは母指と示指を用いた持ち上げ運動の計測を行い [1], 把持力 (摘む力) と負荷力 (持ち上げる力) との間に協調関係があること, そして把持力が把握対象の摩擦や質量条件に応じて, 持ち上げに最低限必要な力の 1.2 から 1.5 倍程度となることを明らかにした。本研究では, これまでの持ち上げ動作の解析では注目されることがなかった接触重心位置の変化に着目する。特に把握対象の摩擦や質量条件が変化する際の接触重心位置の軌跡を実験的に明らかにする。

2 方法と実験

本研究では, 母指と示指の指腹を用いた持ち上げ動作を対象に, 摩擦や質量条件が変化する際の接触力の変化を 6 軸力センサを用いて計測する。計測装置の摩擦や質量条件については, それぞれ 3 段階に変化させることができる。また, 計測した接触力を用いてオフラインで接触重心位置の計算を行う。

2.1 条件と手順

Fig.1 に示す計測装置を構築した。(a) が示指側, (b) が母指側であり, それぞれが摩擦条件を変化させるための着脱可能な直径 30mm の円盤と, それを支持する 6 軸力センサ (NANO-1.2/1-S30, BL オートテック) で構築されている。また, (c) が質量条件を変化させるためのフックである。示指と母指の接触面間の距離は約 70mm とした。また, 床面から接触面の中心までの高さが 860mm となるように計測装置を机上に設置した。

被験者には机上に設置した鉛直方向のスケール (Fig.1 の (d)) を目安として, この計測装置を約 100mm 持ちあげ, 約 5 秒間保持した後に元の場所に戻すように指示した。摩擦条件については摩擦係数が低いものから順番に, 両面テープの剥離紙 (約 0.5, 以下 RP と呼ぶ), ポリエチレン (約 0.8, 以下 PE と呼ぶ), そして 100 番の紙やすり (約 1.2, 以下 SP と呼ぶ) を用いて 3 条件を設定した。また, 質量条件についてはフックに錘を吊り下げること, 300g, 500g, そして 700g の 3 条件を設定した。

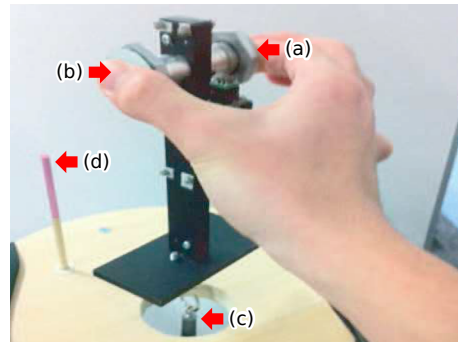


Fig. 1 Measurement device for the lifting task experiment.

3 名の被験者に対して, 摩擦と質量が異なる 9 条件での持ち上げ動作の計測を行った。それぞれの条件における試行回数は 3 回である。また, それぞれの条件に習熟するように, 計測を行う前に十分な回数の予備試行を実施した。このため, 実験条件の順序については特段の注意を払っていない。

2.2 接触重心位置の計算

6 軸力センサからのアナログ出力を, AD 変換器を用いて 400Hz でサンプリングし, パソコン上に CSV ファイルとして保存した。また, 力とモーメントの釣り合いと, 接触面が平面から構成されるという拘束条件を用いて, 接触重心位置を以下の式に従い算出した [2]。

$$\text{CoP} = \frac{1}{\|\mathbf{f}''\|^2} (\mathbf{f} \times \mathbf{m} + R\|\mathbf{f}''\|\mathbf{f}) \quad (1)$$

ただし, 式中の $\mathbf{f}$ が 3 軸方向の力, $\mathbf{m}$ が 3 軸周りのモーメント, $\mathbf{f}''$ が $\mathbf{f}$ において接触面に鉛直な方向の成分以外を 0 としたもの, そして R が力センサの原点から接触面までの距離を表す。

被験者の指が常に同じ位置に接触するわけではないので, 接触重心位置は試行毎に変化する。試行間, そして被験者間で接触重心位置の変化を比較できるように, 把持力と負荷力が安定した時刻 $t = T$ における重心位置を, 全ての接触重心位置から差し引いた (つまり, 力が安定した時刻での接触重心位置が原点となる)。

以下の議論では, 重力方向の反対を鉛直方向のプラス, 指の近位から遠位方向を水平方向のプラスとする。また, 紙幅の都合に

より、それぞれの条件について、全ての試行と全ての被験者を平均した示指のデータを分析する。

3 結果: 把持力と負荷力

3.1 摩擦条件が変化するとき

Fig.2 の (a) に、質量条件が 500g で摩擦条件が変化する時の把持力と負荷力の時間変化を示す。ただし実線が把持力、点線が負荷力を表す。摩擦係数が低いほど把持力が増加する。また、負荷力はすべての摩擦条件でほぼ一致する。一方、Fig.4 の (a) に、把持力と負荷力の協調関係を示す。ヒステリシスが認められるものの、それぞれの摩擦条件においてほぼ直線状に変化する。しかし、その傾きは摩擦条件により変化する。

3.2 質量条件が変化するとき

Fig.3 の (a) に、摩擦条件が SP で質量条件が変化する時の把持力と負荷力の時間変化を示す。質量が重いほど把持力が増加する。また、負荷力はそれぞれの質量の半分とほぼ一致する。一方、Fig.4 の (b) に、把持力と負荷力の協調関係を示す。ヒステリシスが認められるものの、それぞれの質量条件においてほぼ直線状に変化する。また、その傾きも質量条件の変化に関わらずほぼ一定である。以上の把持力と負荷力の協調関係は、Johansson らの報告 [1] とほぼ一致する。

4 結果: 接触重心位置

4.1 摩擦条件が変化するとき

Fig.2 の (b) と (c) に、質量条件が 500g で摩擦係数が変化する時の接触重心位置の時間変化を示す。ただし (b) が鉛直方向であり、(c) が水平方向である。(b) の鉛直方向の変化からは、接触重心位置が上方から下方に、そして再び上方に移動することが分かる。

前者は、指が橈側から腹の中心部に向かって接触すること起因すると考えられる。また、(a) と (b) を比較すると、接触重心位置が極小となる時刻と、負荷力が増加を開始する時刻がほぼ一致することが分かる。このことから後者は、負荷力の増加に伴う接触圧力分布の変化や、皮膚の変形に起因するものと考えられる。鉛直方向の重心位置が安定するまでの時間は摩擦条件により異なるが、接触重心位置の極小点と安定点の距離は摩擦条件に関わらず 2.5mm 程度である。一方、(c) の水平方向の変化からは、接触重心位置が遠位から近位に移動していることが分かる。これは、指が先端から腹の中心部に向かって接触すること起因すると考えられる。また、摩擦条件に関わらず、接触重心位置の変化に顕著な違いがない。

4.2 質量条件が変化するとき

Fig.3 の (b) と (c) に、摩擦係数が SP で質量条件が変化する時の接触重心位置の時間変化を示す。4.1 節で行った解析と同様の傾向を持つことが分かる。

5 結論

接触重心位置の変化に着目した持ち上げ動作の解析を行った。3 節で行った解析からは先行研究と同様に把持力と負荷力の協調関係が明らかになった。また、4 節で行った解析からは、接触重心位置の変動幅が摩擦や質量条件の変化に関わらずほぼ一定とな

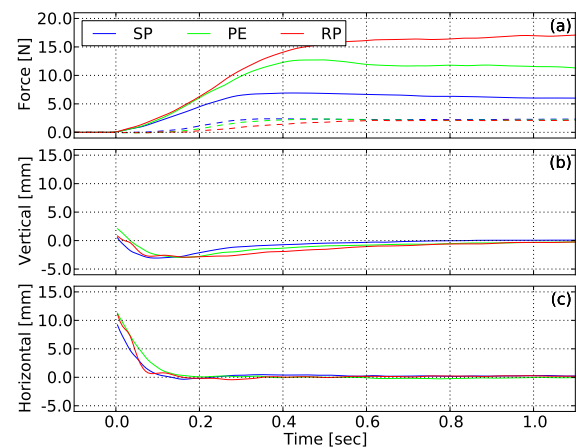


Fig. 2 Contact force and center of pressure for different friction.

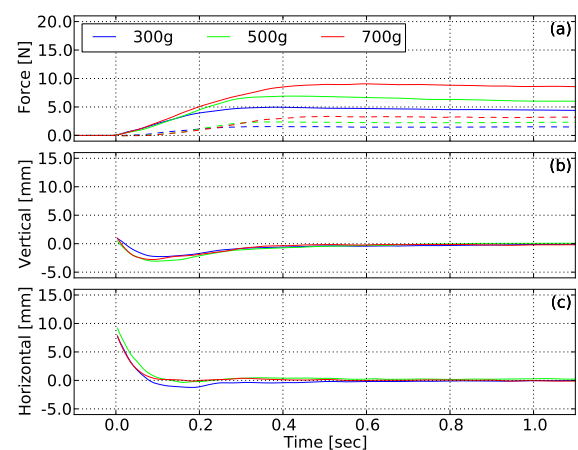


Fig. 3 Contact force and center of pressure for different weight.

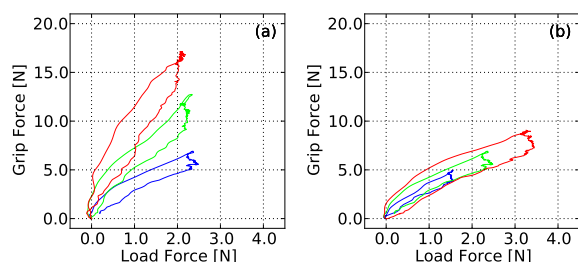


Fig. 4 Coordination between grip force and load force.

ることが明らかになった。以上の知見は、ロボットハンドの把持力制御を実現する上で示唆に富む。例えば、ロボットハンドの指先を 6 軸力センサで支持された弾性体で構成すれば、指先の接触重心位置の変化を計測できる。そして、物体を持ち上げる際にその変動幅が一定となるように把持力を制御すれば、摩擦や質量が未知な物体に対しても適切な把持力を発揮できる可能性がある。

参考文献

- [1] R. S. Johansson and G. Westling: "Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects", *Experimental Brain Research*, pp.550-563, 1984.
- [2] A. Bicchi: "Intrinsic contact sensing for soft fingers", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.968-974, 1990.